

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Hrvoje Šakota

Preddiplomski sveučilišni studij Poljoprivreda

Smjer Mehanizacija

Materijali za izradu brtvila u poljoprivrednoj tehnici

Završni rad

Osijek, 2019.

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Hrvoje Šakota

Preddiplomski sveučilišni studij Poljoprivreda

Smjer Mehanizacija

Materijali za izradu brtvila u poljoprivrednoj tehnici

Završni rad

Povjerenstvo za ocjenu završnog rada:

1. Prof.dr.sc. Goran Heffer, mentor
2. Izv.prof.dr.sc. Ivan Plaščak, član
3. Ivan Vidaković, mag.ing.mech., član

Osijek, 2019.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek
Preddiplomski sveučilišni studij Poljoprivreda, smjer Mehanizacija

Završni rad

Hrvoje Šakota

Materijali za izradu brvila u poljoprivrednoj tehnici

Sažetak: U ovom radu su opisane osnovne karakteristike i opća svojstva brtvljenih spojeva koji se koriste u poljoprivrednoj tehnici. Opisane su osnovne vrste brtvila s obzirom na mogućnost ostvarenja gibanja u brtvljenom spoju - statičke (nepokretne) i dinamičke (pokretne) brtve. Analizirane su vrste materijala koji se koriste pri izradi različitih tipova brtvila čija primjena je u području poljoprivredne tehnike. U zaključku je naglašen značaj funkcije brtvljenja strojnih elemenata i izbora prikladnih vrsta materijala za izradu brtvila.

Glavne riječi: poljoprivredna tehnika, brtvljeni spojevi, brtvila, materijali

26 stranica, 24 slike, 25 literaturnih navoda

Završni rad je pohranjen: u Knjižnici Fakulteta agrobiotehničkih znanosti Osijek i u digitalnom repozitoriju završnih i diplomskih radova Fakulteta agrobiotehničkih znanosti Osijek

BASIC DOCUMENTATION CARD

Josip Jurja Strossmayer University of Osijek
Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek
Undergraduate university study Agriculture, course Mechanization

BSc Thesis

Hrvoje Šakota

Materials for making of seals in agricultural technique

Summary: This paper describes the basic characteristics and general properties of the sealing joints used in agricultural technique. Basic types of seals are described with regard to the possibility of motion in the sealed joint - static (fixed) and dynamic (moving) seals. The types of materials used in the manufacture of different types of sealants for agricultural applications are analyzed. In conclusion, the importance of the sealing function of machine elements and the selection of suitable types of sealant fabrication materials are emphasized.

Key words: agricultural technique, sealing joints, seals, materials

26 pages, 24 figures, 25 references

BSc Thesis is archived in Library of Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek and in digital repository of Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek

Sadržaj

1. UVOD	1
2. OPĆA SVOJSTVA BRTVLJENIH SPOJEVA	2
3. VRSTE BRTVILA	5
3.1. Statičke brtve	6
3.2. Dinamičke brtve	8
3.3. Beskontaktne brtve	13
4. MATERIJALI ZA IZRADU BRTVI	15
4.1. Brtve od papira i kartona	15
4.2. Brtve od kože	16
4.3. Brtve od biljnih vlakana	17
4.4. Brtve od pluta	17
4.5. Brtve od vulkanfibera	18
4.6. Brtve od troskine vune	18
4.7. Brtve od azbesta	18
4.8. Brtve od gume	19
4.9. Brtve od plastičnih masa	20
4.10. Brtve od grafita	21
4.11. Brtve od metala	22
5. ZAKLJUČAK	23
6. POPIS LITERATURE	24
POPIS SLIKA	

1. UVOD

U strojarstvu se brtvljenjem spojeva nastoji smanjiti njihova propusnost ili spojeve učiniti nepropusnima. Svrha brtvljenja je mnogostruka, odnosno služi za međusobno odvajanje prostora u kojima trebaju vladati različiti tlakovi, za razdvajanje prostora u kojemu se nalaze različiti mediji koji ne smiju doći u izravan doticaj ili da bi se zaštitio neki uređaj od onečišćenja.

Spojeve je moguće brtviti eliminacijom zračnosti među dosjednim površinama pomoću fine obrade i korištenjem dovoljno velikih sila za njihovo stezanje. No ovakav način brtvljenja nije ekonomičan u većini slučajeva, a ponekad je i neizvediv. Zbog toga se za brtvljenje koriste različiti materijali (brtvila) ili elementi (brtve) izrađeni iz tih materijala koji će eliminirati zračnost prilagodbom na neravnine dosjednih površina, a to će ostvariti svojim deformiranjem (tzv. „puzanjem“).

Mnoštvo drugih zahtjeva, osim nepropusnosti, postavlja se pred materijale za brtvljenje. Od njih se traži sigurnost u pogonu, da ne utječu nepovoljno na medij s kojim dolaze u kontakt, da imaju otpornost prema kemijskom djelovanju medija s kojim dolaze u kontakt, da imaju dovoljnu trajnost, kao i postojanost na temperaturama pogona, te laku obradivost za određene materijale.

Poljoprivredna tehnika raspolaže brojnim strojevima i uređajima, čiji tehnički sustavi u svom radu primjenjuju različite medije (ulje, zrak, voda, tekuća goriva, itd.). Radni elementi takvih sustava u sastavu svojih konstrukcijskih rješenja sadrže i različite oblike brtvljenih spojeva, kojima se osigurava njihova nepropusnost i sprječava nekontrolirano istjecanje medija u okoliš. Time se osigurava kvalitetan i pouzdan rad cijelog tehničkog sustava te učinkovitost poljoprivrednog stroja i uređaja u pogledu ostvarivanja svoje agrotehničke funkcije.

Cilj ovog rada je analizirati opća svojstva brtvljenih spojeva, te vrste, strukturu i svojstva materijala za izradu različitih tipova brtvila koja se primjenjuju u poljoprivrednoj tehnici.

2. OPĆA SVOJSTVA BRTVLJENIH SPOJEVA

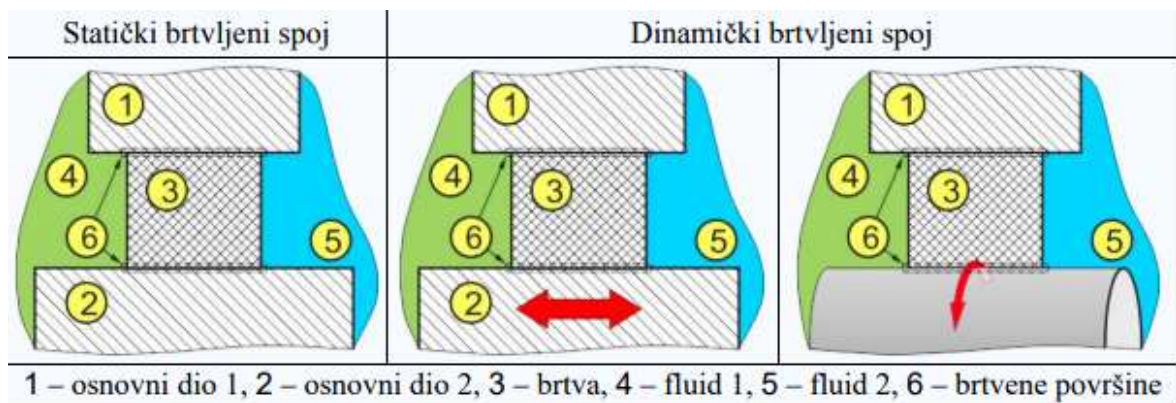
Pojavu, pri kojoj medij prestaje istjecati kroz prostor između dvije ravne površine spoja prije nego se zračnost među njima svede na nulu, treba pripisati složenom djelovanju apsorpcije medija na tim površinama, međumolekularnih sila u mediju i napona površine kao njihove posljedice, te kapilarnih sila. Pri tome dolazi do smanjenja zračnosti zbog razlike u tlakovima između medija odvojenih spojem. S druge strane, bez specijalne obrade, zračnost među dosljednim površinama ovisi o veličini elastičnih i plastičnih deformacija kao posljedica pritiska kojim su one međusobno stegnute, odnosno postoji određeni stezni pritisak koji će osigurati brtvljenje. Taj stezni pritisak treba biti dovoljno velik da uzrokuje puzanje, a odrediti će i svojstva materijala i kakvoću obrade brtvenih površina. Djelotvornost samog brtvljenja određena je dimenzijama brtve i brtvene površine i od vrste opterećenja brtve i od medija. Općenito veću kvalitetu brtvljenja zahtijevaju plinovi, naročito suhi, a tekućine manju. (LZMK, 1976.).

Dunđer i Kolumbić (2011.) navode kako se brtvljenjem sprječava prodiranje fluida između radnih prostora sustava, a samim time i miješanje fluida (miješanje vode za hlađenje i ulja za podmazivanje), sprječava se istjecanje fluida iz sustava u okolinu, te sprječava ulazak nečistoća iz radne okoline u sustav, čime se osigurava pravilan rad sustava. Karakteristika brtvljenih spojeva jest propusnost (odražava se zračnošću na mjestu kontakta dijelova brtvljenih spojeva, difuzijom kroz brtve) koja se izražava kroz protok, a mjeri se u pogonskim uvjetima i izražava u pogonskim jedinicama.

Potrebno je uzajamno naliježanje brtvenih površina po minimalno jednoj brtvenoj liniji kako bi brtvljenje bilo učinkovito. Iz ovoga proizlazi činjenica da svi elementi brtvljenih spojeva moraju biti prikladno oblikovani, što uključuje tolerancije, dimenzije, oblik i položaj. Također, potrebna je određena hrapavost i tvrdoća dodirnih površina, te postojanost tijekom djelovanja vanjskih utjecaja u pogonu. Kroz istraživanja se došlo do zaključka da je brtvljene spojeve potrebno analizirati kao funkcionalne cjeline, jer brtve čine samo 10% uzroka otkaza pogona (Dunđer i Kolumbić, 2011.).

Strukturu brtvljenih spojeva čine relevantni dijelovi osnovnih i pomoćnih elemenata i brtva koja se nalazi između osnovnih elemenata (Dunđer i Kolumbić, 2012.).

Slika 1. prikazuje shemu brtvljenih spojeva i dijelove samog spoja



Slika 1. Shema brtvljenih spojeva (Izvor: Dunder i Kolumbić, 2012.)

Dunder i Kolumbić (2012.) također navode svojstva brtvljenih spojeva, kao rezultat faktora koji utječu na izbor brtvljenog spoja:

- interval temperatura
- interval tlakova
- brtvljeni fluidi
- okolina
- integritet brtvljenog spoja
- materijali uzajamno dodirnih površina
- vijek trajanja
- uvjeti održavanja
- obujam proizvodnje
- postupak montaže
- kriterij ispitivanja i nadzora
- stečena iskustva konstruktora
- stupanj savitljivosti i relativna gibanja uzajamno dodirnih površina
- otpornost na mehanička, tlačna, toplinska opterećenja
- industrijske norme i praksa
- sterilnost i higijenska prikladnost.

Izbor brtvljenog spoja ovisi o:

- vrsti i oblicima elemenata
- geometriji elemenata
- svojstvima materijala elemenata
- uvjetima rada
- prihvatljivim troškovima.

Brtvljene spojeve može se podijeliti prema smjeru brtvljenja (jednosmjerni i višesmjerni) te prema gibanju elemenata u brtvljenom spoju (statički i dinamički). Za primjer podjele prema smjeru brtvljenja može se uzeti spoj bloka motora i cilindarske glave, koji predstavlja višesmjernan brtvljeni spoj, gdje je potrebno spriječiti prodor vode u smjesu, ulje i okolinu; prodor ulja u smjesu, vodu i okolinu; prodor produkata izgaranja u vodu ili ulje. Podjela prema gibanju elemenata brtvljenih spojeva karakterizirana je mirovanjem i gibanjem elemenata brtvljenog spoja (Dunđer i Kolumbić, 2012.).

Brtvljeni spojevi su od vitalne važnosti za poljoprivrednu proizvodnju jer su sastavni dijelovi različitih poljoprivrednih strojeva i uređaja - traktora, kombajna, prikolica, podrivača, crpki za vodu, prskalica, transportera, itd. Većina rukovatelja poljoprivrednih strojeva otkrije problem brtvljenja tek kada propuštanje medija postane vidljivo. Propuštanje uglavnom znači da je vrijeme za zamjenu brtvila, budući da je zamijena brtvila na prvi znak propuštanja puno ekonomičnija nego popravak štete koju neispravan brtvljeni spoj može prouzročiti.

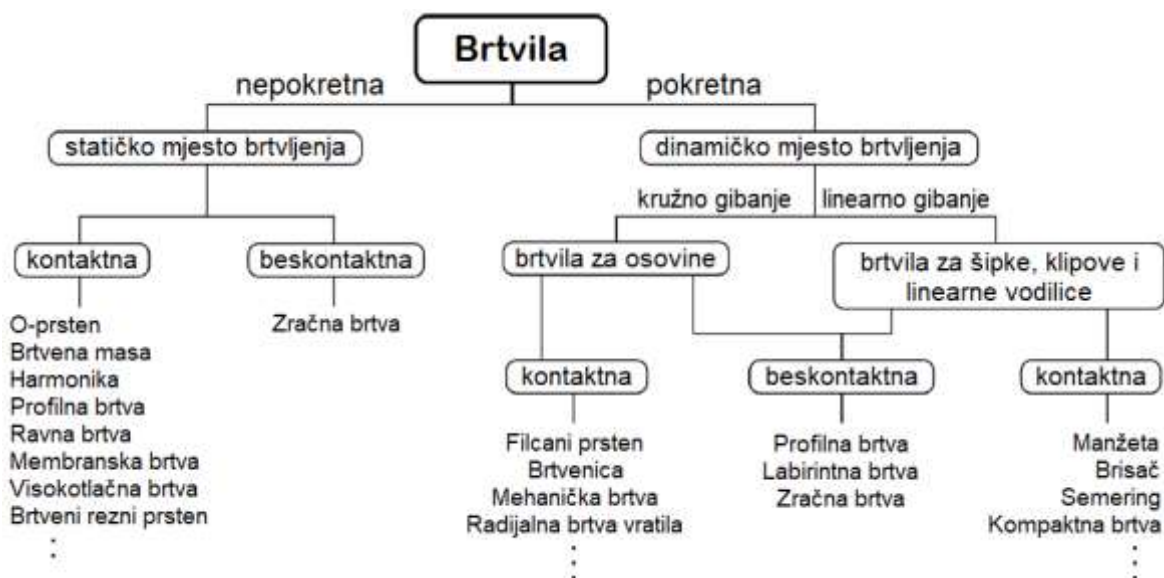
Brtvila koja se koriste u poljoprivrednoj industriji moraju biti otporna na poljoprivredne kemikalije poput gnojiva, sredstava za zaštitu bilja i drugih korozivnih tvari. Njihovi kiseli sastavi mogu prouzročiti propadanje nekih metala i nemetalnih materijala. To znači da se materijali za brtvila trebaju prilagoditi potrebama primjene, kako bi se osigurala sigurna i trajna funkcija brtvljenja dijelova poljoprivredne tehnike.

Kod traktorskog motora, između glave i cilindra motora namješta se brtva. Zadatak joj je da ne propušta plinove koji se nalaze u cilindru pod visokim tlakom i na visokoj temperaturi. Kod vodom hlađenih motora, ona brtvi također rashladnu vodu i ulje za podmazivanje na njihovom prijelazu iz bloka u glavu motora. Brtva, koja je čvrsto stegnuta između glave motora i bloka, plastično se deformira te na taj način brtvi (Vujčić i sur. 2011.).

3. VRSTE BRTVILA

Brtvila su nedvojbeno najrazličitija skupina konstrukcijskih elemenata strojeva.

Slika 2. prikazuje jednostavnu klasifikaciju na temelju principa funkcioniranja i načina izvedbe.



Slika 2. Podjela brtvljenih spojeva (Izvor: Haas, 2014.)

Ako se spoj između dva dijela treba zabrtviti odgovarajućom pomoćnom tvari (brtvom) i ova pomoćna tvar je pritisnuta tako čvrsto da su njezine unutarnje pore, kao i mikro razmaci između pomoćne tvari i dijelova koji se zatvaraju, tako mali da ne dopuštaju prodiranje suzdržane tvari, ostvaruje se kontaktno (dodirno) brtvljenje.

Brtve, koje djeluju bez mehaničkog kontakta dvaju dijelova i bez čvrstog „međuproizvoda“, nazivaju se beskontaktnim brtvama.

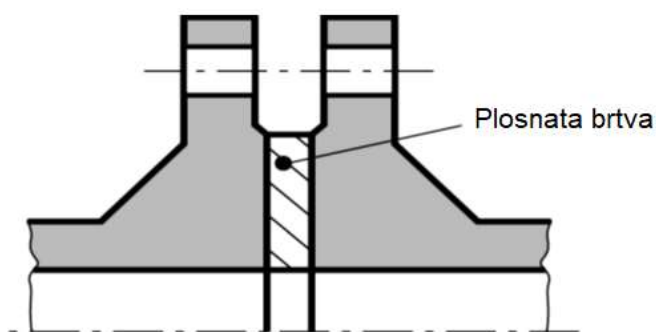
Kod kontaktnog brtvljenja pokretnog strojnog dijela pomična brtvena masa je pritisnuta kontaktnom silom na svoje kontra-brtvene površine. Kontaktna sila mora biti barem toliko velika da je prosječni površinski tlak jednak tlaku tekućine koja se treba zabrtviti (Haas, 2014.).

3.1. Statičke brtve

Statičke točke brtvljenja su one u kojima brtvene površine, tj. površine između kojih je ispunjena funkcija brtvljenja, ne obavljaju međusobne relativne pomake potrebne za funkcioniranje tehničkog sustava. Tijekom sastavljanja, brtva se mora prethodno pritisnuti s minimalnim tlakom p_v ili minimalnom silom F_v . Kao rezultat, postiže se dovoljna elastična i plastična prilagodba brtvenih površina jedna drugoj. Također, ukoliko je riječ o ravnim brtvama ojačanim vlaknima, zatvara se unutarnja poroznost materijala. U svakom slučaju, ne smije se prekoračiti maksimalno dopušteni tlak jer se, u protivnom, brtva uništava (Haas, 2014.).

Plosnate brtve su tanke brtve za ravne površine koje su pod pritiskom vanjske sile. One se ne aktiviraju tlakom i stoga se automatski ne prilagođavaju tlaku koji treba zatvoriti. Rasprostranjena je primjena u svim područjima tehnologije za tekućine i plinove, pri visokim i niskim temperaturama, te stacionarnom i pulsirajućem tlaku. Primjenjuju se različiti oblici, izrađeni od različitih materijala i kombinacija materijala. Razlikuju se brtve od tvrdih, mekih i višestrukih materijala. Tvrdi materijali su obično mekani metali, poput bakra, olova, aluminijsa itd. Mekani materijali uključuju papir, karton, gumu, plastiku, ekspanzirani grafit i ekspanzirani PTFE. Višekomponentne brtve su kombinacije mekih materijala i metala ili vlakana (Haas, 2014.).

Na slici 3. prikazana je plosnata brtva u tehničkom sklopu strojnog elementa.



Slika 3. Plosnata brtva (Izvor: Haas, 2014.)

Mekane brtve su tijekom funkcioniranja sprešane izvana, čime je ostvaren tlak brtvljenja. Tlak brtvljenja u radu je uvijek viši od tlaka medija u sustavu. To se naziva „automatskim mehanizmom za brtvljenje“. Tipičan predstavnik je elastomerni O-prsten od NBR, FPM ili PU. Profilne brtve od mekih materijala i posebice O-prstenovi vrlo često se koriste u tehnici zbog njihovog vrlo dobrog učinka brtvljenja (Haas, 2014.).

Na slici 4. prikazani su različiti tipovi O-prstenova (O-brtvi).



Slika 4. Različiti tipovi O-prstenova

(Izvor: <http://www.dihta.com/>)

Metalne brtve se koriste pri visokim tlakovima i/ili visokom temperaturom. Zbog visokog modula elastičnosti ili visokih granica tečenja, ovdje se moraju postići veliki površinski pritisci da se kompenziraju neravnine brtvenih površina. To se postiže relativno malim silama vijka i konstruktivnim smanjivanjem brtvenih površina. Još jedan način povećanja tlaka brtvljenja s umjerenom silom vijka je učinak klinova na konusnim brtvenim površinama (Haas, 2014.).

Membranske brtve omogućuju ograničena kretanja bez podmazivanja i niskog trenja i bez klizanja s maksimalnom mogućom nepropusnošću. Unatoč relativno velikom pomicanju komponenti jedna prema drugoj, kao u prirodi, klizna brtva se izbjegava. Ravna membrana može biti od metala, gume ili plastike. Puštena ravna membrana mora biti izrađena od gumeno-elastičnih materijala. Za više tlakove i duži vijek trajanja koristi se ojačana tkanina. Za poboljšanje otpornosti na kemikalije, membrane se oblažu teflonom (Haas, 2014.).

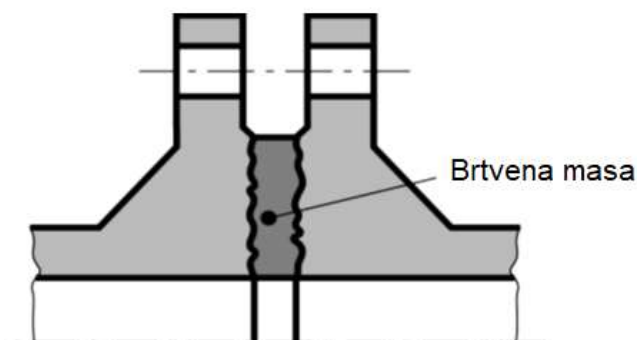
Slika 5. prikazuje primjere gumenih membranskih brtvi.



Slika 5. Gumene membranske brtve (Izvor: <http://www.svks-rubberseal.com/>)

Brtvene mase obuhvaćaju pastozne ili tekuće brtve, koje se lako prilagođavaju mikro i makro strukturi brtvenih površina kao što su priрубnice ili niti i zatim kemijski ili fizički očvršnuti na tvrde ili elastične brtve. Brtveni spojevi su fleksibilni, te se naširoko koristi u svim područjima tehnologije. prema tome različita su njihova ostvarenja (Haas, 2014.).

Na slici 6. prikazan je izgled brtvljenja pomoću brtvene mase.



Slika 6. Brtvljenje pomoću brtvene mase (Izvor: Haas, 2014.)

Zaštitne manžete (harmonika brtve) dobivaju se spajanjem nekoliko ravnih membrana u nizu. Ovakve brtve omogućuju veća bočna i kutna naprezanja. Manžete imaju tijelo izrađeno od metala i polimera. Valovite metalne manžete su valjane i omogućuju visoki tlak u proporciji sa svojim veličinama. Za zavarene lamelirane manžete lamele se utisnu i zavaruju. Polimerne manžete izrađuju se od polimernih cijevi. Vrlo su fleksibilne i prije svega kemijski inertne (Haas, 2014.).

Slika 7. prikazuje primjer zaštitnih manžeta od polimera.



Slika 7. Zaštitne manžete

(Izvor: <https://gtb.hr/>)

3.2. Dinamičke brtve

Ako su prostori koji se zatvaraju međusobno povezani pomoću pokretnog dijela na takav način da postoji relativno pomicanje brtvenih površina, to se naziva dinamička točka

zatvaranja. Ako je pomicanje rotacijsko riječ je o brtvama vratila. Ako je pomicanje translacijsko, riječ je o štapnoj brtvi (brtva se nalazi unutar šupljeg vanjskog dijela) ili klipnoj brtvi (brtva je na vanjskoj površini unutarnjeg dijela) (Haas, 2014.).

Zaštitne brtve štite od pražnjenja maziva i ulaska prljavštine. Najstarija i najjednostavnija zaštitna brtva je filcani prsten, najsuvremeniji i najuži je brtveni disk integriran u ležaj. Klipni prstenovi, lamelarni prstenovi i elastični pokrovni diskovi jednostavni su metalni brtveni elementi koji rade bez kontakta, a prikladni su za zadržanje masti iz ležaja i blokiranje ulaska prljavštine. Elementi za brtvljenje, izrađeni od elastomera (poželjno od NBR ili FPM), kao što su V-prsten, gama-prsten, aksijalne brtve vratila i brtveni disk, mogu također biti nepropusni za tekućine protiv ubrizgavajućih i tlačnih fluida. U pravilu su samo u jednom smjeru. Ako se tekućina treba zabrtviti u dva smjera, tada se moraju postaviti dva elementa. Poseban položaj zauzima pogonska brtva. Sposobna je izdržati teška zaprljanja, npr. u buldožerima, te zadržati tekućine pod tlakom do 0,2 MPa. Brtveni prstenovi izrađeni su od posebnog hladnog lijevanog željeza, te su elastično zabrtvljeni i pritisnuti s dva O-prstena (Haas, 2014.).

Slika 8. prikazuje komplet zaštitnih metalnih brtvi klipa motora (klipni prstenovi).



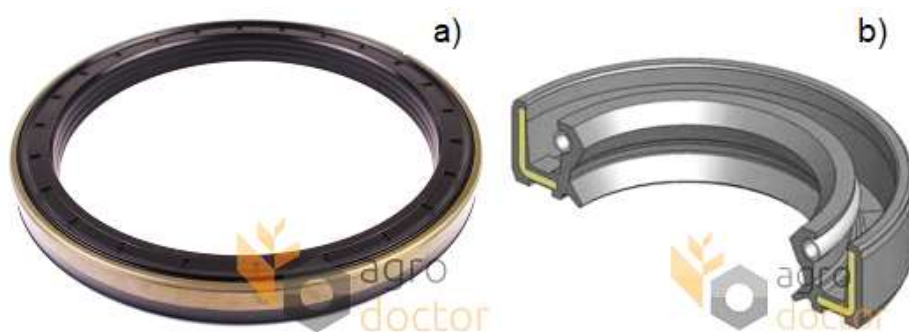
Slika 8. Komplet zaštitnih metalnih klipnih prstenova

(Izvor: <https://www.ikh.fi/en/>)

Radijalna brtva osovine funkcionira na način da se rub primarnog brtvila radijalno naslanja na rotirajući element. Klasičan, najpoznatiji i vrlo često korišteni element ove skupine je elastomerna radijalna brtva osovine RWDR, također uobičajeno nazvana Simmerring. Uz dobru tekućinu za podmazivanje, optimalno ispiranje i odgovarajući materijal RWDR se može koristiti do brzine od 35 m/s. Učinak brtvljenja RWDR-a temelji se na elasto-hidrodinamičkom povratnom učinku. To se temelji na dva različita kuta brtvenog ruba i karakterističnom trošenju kontaktne površine. Tekućina mora uvijek biti na strani s većim

kutom brtvenog ruba. Ako se tekućina stavlja na stranu s manjim kutom brtvenog ruba, on se pumpa u stranu s velikim kutom brtvenog ruba. Radijalna brtva vratila je stoga aktivni element za brtvljenje i zbog toga može biti nepropusna. RWDR sa skraćenom i ojačanom dijafragmom je poseban prsten izrađen od elastomera bez pritiska opruge i brtve s rukavom od PTFE spoja. Ovi prstenovi su otporni na pritisak jer imaju "malu" efektivnu površinu opterećenu tlakom (dano razmakom x između ruba brtvljenja i bočnog zida niskog tlaka) i veću stabilnost. S ovim brtvenim elementima tlakovi do 1 MPa mogu se kontrolirati s relativno malom brzinom klizanja. Zahvaljujući njihovom posebnom dizajnu (mala vrijednost x), sustavi brtvljenja kao što su D i E s brtvenim prstenom od PTFE-a mogu se koristiti za brtvljenje tlaka do 3 MPa pri brzini klizanja do 12 m / s (istovremeno). Brtve PTFE čahure uvijek se upotrebljavaju kada temperaturna stabilnost ili kemijska otpornost elastomernih materijala više nije dovoljna ili kada je potrebno zadržati tekućine slabog podmazivanja. Uz glatke manžete koje nemaju aktivni povratni mehanizam - po mogućnosti se koriste PTFE čahure sa spiralnim žljebom za nepropusne brtve. Spiralni žlijeb djeluje kao povratna pumpa i značajno poboljšava kapacitet brtvljenja. Međutim, takvi dinamički brtveni prsteni mogu raditi samo u jednom smjeru vrtnje, a njihova statička nepropusnost je manje povoljna (Haas, 2014.).

Slika 9. prikazuje primjer traktorske RWDR brtve (a) i njezin presjek (b).



Slika 9. Primjer traktorske RWDR brtve

(Izvor: <https://agrodoctor.eu/>)

Mehaničke brtve (GLRD) su tijekom vremena uspjele poboljšati svoje performanse - uglavnom zbog svoje relativno niske propusnosti i trenja - kao brtve vratila otporne na pritisak za tekućine. One se sastoje uglavnom od kliznog i protustrujnog prstena, koji su aksijalno stisnuti oprugom, a između njih hidrostatskim i hidrodinamičkim efektima tvori se brtveni otvor visine manje od 1 mm. Trošenje kliznih površina automatski se kompenzira

pomicanjem prema gore. GLRD stoga ne zahtijeva održavanje. Od kliznih materijala koriste se u suvremenim mehaničkim brtvama silicij karbid SiC (Haas, 2014.).

Slika 10. prikazuje primjer mehaničke brtve GLRD.



Slika 10. GLRD mehanička brtva (Izvor: <http://www.protechseal.hr/>)

Brtvenice su vrlo jednostavne klasične brtve vratila i kućišta (cilindra). Vrlo su jednostavne izvedbe. Materijal za brtvljenje je umetnut u prsten kućišta i aksijalno pritisnut. Uslijed tlaka, veže na prstenastu stijenku kućišta i osovinu/šipku. Brtvenice se još uvijek koriste za brtvljenje medija s visokom temperaturom i visokim tlakom. Brtvljenje dijelova koji se pomiču je uobičajeni primjer u pneumatskoj i hidrauličnoj tehnici. Odlučujuće za trenje, trošenje, a time i vijek trajanja, predstavlja sloj tekućine za podmazivanje (mazivi sloj) između brtvenog elementa i stijenke cilindra tijekom kretanja. Debljina mazivog sloja ovisi o viskoznosti, brzini klizanja i raspodjeli tlaka u brtvenoj površini u smjeru kretanja. Raspodjela pritiska ovisi o geometrijskom obliku brtvenih elemenata i njihovoj deformaciji uslijed djelovanja sila (Haas, 2014.). Slika 11. prikazuje primjer brtvenice.



Slika 11. Brtvenica (Izvor: <https://www.hennlich.hr/>)

Štapne brtve su čvrste brtve koje napuštaju tlačnu komoru na svojoj površini kada je šipka ispružena. Štapne brtve izvedene su s asimetričnom raspodjelom pritiska, strmom na strani tekućine i ravnom na strani zraka. Prsten za brtvljenje koji se koristi za visokokvalitetno brtvljenje je izrađen od PTFE spoja i ima elastomerni prsten za stezanje. Također postoje prsteni za brtvljenje izrađeni od rožnatog poliuretana. Oni su jeftiniji, manje osjetljivi, manje se troše i mogu se, jer su elastični, lakše montirati u zatvorenim žljebovima. No, oni imaju puno veće trenje i tendenciju sljepljivanja (lijepljenja za površinu šipke). Brtveni prstenovi izdrže tlakove do oko 20 MPa. Ako je potrebno zatvoriti viši tlak, koristi se višestruki sklop (tandem). Uslijed toga se tlak kaskadno smanjuje (Haas, 2014.).

Slika 12. prikazuje primjere različitih štapnih brtvi.



Slika 12. Štapne brtve (Izvor: <https://www.hennlich.hr/>)

Klipne brtve omogućuju debeli film za podmazivanje, a time i malo trenje tijekom rada elemenata. Moguće curenje nije važno jer ostaje u sustavu. Kompaktne brtve sadrže više vodilica, potpornih i brtvenih elemenata. Za jednostavnije primjene može se izostaviti potporni prsten. Elastomerna brtva osigurava visoku kvalitetu brtvljenja. PTFE pravokutni prstenovi s elastomernim stezanjem i brtvom glave su jednostavne, male i jeftine klipne brtve s malim trenjem i malim opterećenjem (Haas, 2014.).

Slika 13. prikazuje primjer klipne brtve.



Slika 13. Klipna brtva (Izvor: <https://hidrospoj.hr/>)

Hidraulične brtve sadrže strugače i vodilice koji u pneumatskoj tehnologiji imaju iste zadatke kao i hidraulični cilindri. Klipni i posebno brtveni prsteni imaju poseban zadatak. Osim brtvljenja zraka, oni moraju osigurati početno uspostavljeni film za podmazivanje što je duže moguće. Zbog toga su brtvene površine konstruirane s ravnom, simetričnim raspodjelom tlaka, tako da brtva klizi preko filma za podmazivanje, ali ga ne struže. Pri tome, trenje mora biti nisko. Zbog toga su brtve lagano prešane i koriste se posebni materijali te površinski premazi. Stlačivi fluid pod tlakom (zrak) uzrokuje neujednačeno kretanje i rizik od klizanja brtvljenog štapa se dramatično povećava (Haas, 2014.). Slika 14. predstavlja primjer hidrauličnih brtvi.



Slika 14. Hidraulične brtve (Izvor: <https://pkl.hr/>)

3.3. Beskontaktne brtve

Haas (2014.) navodi da je riječ o beskontaktnim brtvilima, ako su dva dijela koja tvore brtve trajno odvojena konačnim razmakom, sa i bez pomaka i bez pomoćne energije. Time se razlikuju „beskontaktne brtve“ od kontaktnih brtvi, koje također rade bez dodira hidrodinamičkim formiranjem razmaka pri većoj brzini klizanja ili hidrostatičkim tlakom - npr. mehaničke brtve ili radijalne brtve vratila - ili u kojima je centrifugalnom silom kontakt otkazan pri većoj obodnoj brzini. Za beskontaktne brtve nema kontakta i nema trenja između fiksnih elemenata. Prednosti ovih brtvi su:

- nema trenja ili samo trenja fluida na relativno velikoj visini
- nema pregrijavanja
- nema trošenja
- nema promjene učinka brtvljenja
- nije potrebno podešavanje

- nema izmjene topline zbog provođenja topline između dijelova
- nema ograničenja temperature
- nema ograničenja na relativnu brzinu
- nema materijalnih ograničenja

Beskontaktna zaštitna brtva imaju iste funkcije kao i brtve za zaštitu od kontakta. Po definiciji, to su brtve vratila i namijenjene su za zaštitu ležajeva od utjecaja okoline (prljavština, voda prskanja) i zadržavanje maziva (masti, ulja) u ležaju (Haas, 2014.).

Labirintna brtva posjeduju točke brtvljenja sa raspršivanjem ili popunjavanjem mjehurića, te moraju biti optimalno zatvorene bez kontakta i statički i dinamički do najviše periferne brzine, pri čemu se u sustav integrira osam bitnih principa djelovanja: odbacivanje, prskanje, zaštita, preusmjerenje, priključivanje, recirkulacija, sakupljanje i pražnjenje (Haas, 2014.).

Zračna brtva koriste zrak pod tlakom kao brtvilo. Između dva uska zazora uvodi se kroz prstenasti otvor zrak ili drugi plin pod tlakom. Na mjestu uvođenja stvara se tlak p_0 i zrak teče kroz praznine. Statički tlak zraka u praznini pada na tlak okoline na kraju razmaka. Ako se sada na jedan kraj kolone nanosi tekućina i tako se barem djelomično zatvori prostor za zrak koji teče kroz njega, tekućina prodiire samo u razmak sve dok odgovarajući lokalni tlak zraka u razmaku ne bude jednak tlaku tekućine. Brtvljenje zraka također je izvrsno za zadržavanje prašine. Povoljno uređen ulazni prostor pouzdano sprječava da brzi mlazovi tekućine ili čestice prašine izravno udaraju u brtveni zračni zatvarač (Haas, 2014.).

Propusna brtva imaju relativno velike struje curenja. Plinski, parni ili vodeni motori nisu problematični, sve dok učinkovitost ne utječe značajno. Pri izračunavanju protoka curenja propusne brtve treba razlikovati laminarni i turbulentni protok i između stlačive i nestlačive tekućine. Raznovrsni su oblici proreza, labirinta, labirintnih praznina i radnih uvjeta. (Haas, 2014.).

Barijerna brtva se koriste za brtvljenje same tekućine u sustavu ili strane tekućine. Većina barijere je tekućina, rjeđe plin. Budući da se barijerne brtve obično potpuno zapečate u svom konstrukcijskom području, one su posebno prikladne za upotrebu u strojevima koji koriste otrovne čestice (Haas, 2014.).

4. MATERIJALI ZA IZRADU BRTVI

Tehnička enciklopedija (LZMK, 1976.) navodi veliki broj različitih materijala koji se koriste u izradi brtvi. Glavni materijali su:

- papir i karton,
- koža,
- biljna i sintetska vlakna,
- pluto,
- vulkanfiber,
- azbest,
- kaučuk,
- guma,
- grafit,
- metali,
- različite plastične mase,
- materijali na bazi ugljika,
- kombinacije materijala.

Kod traktorskih motora uobičajena izvedba brtvi sastoji se iz polimernih ploča debljine 1,5 do 1,75 mm, koje su na rubovima ojačane tankim bakrenim ili čeličnim limom debljine oko 0,25 mm (Vujčić i sur., 2011.).

4.1. Brtve od papira i kartona

Papir i kartoni se koriste kao brtvila, ali ih je potrebno impregnirati uljima, smolama ili kaučukovim lateksom, jer su previše porozni da bi se koristili kao samostalna brtvila. Nije poželjno koristiti firnis kao impregnant, jer smanjuje elastičnost proizvoda (LZMK, 1976.). Na slici 15. prikazan je komplet papirnih brtvi za popravak traktora.



Slika 15. Komplet papirnih brtvi za traktor

(Izvor: <https://www.aliexpress.com/>)

4.2. Brtve od kože

Koža je, kao materijal za izradu brtvi, razmjerno porozna, te ju je potrebno impregnirati voskovima, smolama i tekućim sintetskim impregniranim da bi se postigla potrebna nepropusnost kod brtvljenja. Ono što kožu čini poželjnom kao materijal za brtvljenje jest prilična otpornost na trošenje, djelovanje masti, djelovanje benzina, slabih kiselina i tekućina koje sadrže sumpor. Nedostaci su joj slaba toplinska postojanost i velika osjetljivost prema lužinama. Najveća upotreba kože je kod izrade manžetnih brtava i to pri niskim pogonskim temperaturama (LZMK, 1976.).

Na slici 16. prikazani su primjeri kožnih brtvi.



Slika 16. Kožne brtve (Izvor: <https://www.ramgaskets.com/>)

4.3. Brtve od biljnih vlakana

Biljna vlakna se koriste za izradu brtvi koje će služiti u lakšim pogonskim uvjetima, a čine ih kudelja, juta, pamuk, drveno vlakno. Također ih je potrebno impregnirati različitim sredstvima kao što je neopren (LZMK, 1976.).

Slika 17. prikazuje primjer brtvi od biljnih vlakana.



Slika 17. Brtve od biljnih vlakana

(Izvor: <http://www.apexsealing.com.sg/>)

4.4. Brtve od pluta

Pluto se koristi u prirodnom stanju ili se melje, nakon čega se od dobivenog brašna izrađuju proizvodi vrućim prešanjem s različitim vezivima, gdje se mogu koristiti proteinski i sintetski elastomeri. Glavne odlike plutenih brtvi su kompresibilnost bez puzanja i otpornost na djelovanje ulja, a karakterizira ga i razmjerno visok koeficijent trenja. Nedostaci su mu što nije otporan na djelovanje kiselina i lužina, korozijsko djelovanje na legure aluminija i magnezija i na nehrđajuće čelike. Pluto uz to ne podnosi visoku temperaturu (LZMK, 1976.). Na slici 18. prikazan primjer traktorske brtve od pluta.



Slika 18. Plutena brtva (Izvor: <https://www.completetractor.com/>)

4.5. Brtve od vulkanfibera

Vulkanfiber se koristi za proizvodnju brtvila u obliku ploča koje su impregnirane elastomerima. Prednosti ovih brtvila su razmjerna tvrdoća, savitljivost, žilavost i dobra obradivost. Nedostatak je svojstvo upijanja vode (higroskopnost) zbog čega dolazi do bubrenja (LZMK, 1976.).

Na slici 19. prikazan je primjer brtvi izrađenih od vulkanfibera.



Slika 19. Brtve od vulkanfibera

(Izvor: <https://sachsenroeder.com/en/>)

4.6. Brtve od troskine vune

Troskina vuna se može koristiti za neke slučajeve kao toplinski vrlo otporno brtvilo, ali je njena upotreba ograničena zbog vrlo male mehaničke otpornosti (LZMK, 1976.).

4.7. Brtve od azbesta

Azbest je također prikladan za upotrebu kao brtvilo, ali ga je potrebno armirati za što se mogu koristiti lanene i bakrene niti, jer je porozan i mehanička svojstva su mu slabija. Impregnira ga se pomoću elastomera dobivenih od prirodnih i sintetskih kaučuka kako bi ga se učinilo nepropusnim. Vrlo ga se često koristi za izradu brtvi zbog velike toplinske otpornosti, te se prema materijalima upotrebljenim za armiranje i impregnaciju može dobiti postojanost i do 270 °C. Brtvilo ove vrste poznato je pod nazivom klingerit (prema austrijskoj tvornici R. Klinger), a sačinjen je od smjese vlaknastog azbesta (60-90 %), gume (8-12 %) i mineralnih dodataka u obliku prešanih ploča. Podnosi vrlo visoke temperature, zbog čega se upotrebljava za brtvljenje spojeva koji su u dodiru sa vlažnom i pregrijanom parom pod tlakom, s vrućom vodom, zatim za brtvljenje spojeva u dodiru s komprimiranim plinovima, derivatima nafte, kiselinama i uljem (LZMK, 1976.).

Na slici 20. prikazan je komplet brtvi za traktorski motor izrađenih od klingerita.



Slika 20. Komplet klingeritnih brtvi za traktorski motor

(Izvor: <https://picclick.de/>)

4.8. Brtve od gume

Guma se u velikom broju slučajeva može koristiti kao samostalno brtvilo. Glavne odlike su joj vrlo lako elastično deformiranje i samim time prilagodba obliku brtvene površine pri malim tlakovima. Ostala mehanička i kemijska svojstva ovise o elastomeru koji čini temeljnu tvar, kao i o vrsti dodatka, punila i materijala kojima može biti armirana. U pogledu kemijske otpornosti gume kao brtvila, može se razlikovati otpornost gume prema djelovanju derivata nafte (otporne i neotporne), a pod toplinski odporne gume pripadaju one koje su odporne na srednje temperature. Gume dobivene od silikonskih kaučuka imaju izraženu toplinsku otpornost i postoje su od $-90\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+250\text{ }^{\circ}\text{C}$. Guma ima i važan zadatak kao sastojak drugih brtvila. Može se inkorporirati u brtvila impregnacijom tih brtvila kaučukom i zatim vulkanizacijom, ali i kao posebna obloga (LZMK, 1976.).

U izradi brtvila koriste se različite vrste guma, ovisno o zahtjevanim svojstvima i radnoj temperaturi brtvljenja (<http://www.dihta.com/express-service/materijali-smjese/>):

- Prirodna guma (NR)
- Izoprena guma (IR)
- Butadien guma (BR)
- Stiren-butadien guma (SBR)

- Etilen-propilen-dien guma (EPDM)
- Kloropren guma (CR)
- Akrlonitril-butadien guma (NBR)
- Hidratizirana akrilonitril-butadien guma (HNBR)
- Poliakrilatna guma (ACM)
- Etilen-akrilna guma (AEM)
- Epiklorohidrińska guma (ECO)
- Silikonska guma (VMQ / LSR)
- Fluor-silikonska guma (FVMQ)
- Fluor guma (FPM/FKM)
- Perfluor guma (FFKM)
- Poliuretan (EU)
- Poliuretan-polieter (AU)

Slika 21. prikazuje primjere traktorskih gumenih brtvi.



Slika 21. Gumene brtve za traktor

(Izvor: <https://www.indiamart.com/>)

4.9. Brtve od plastičnih masa

Plastične mase koje se koriste za izradu brtvila izrađuju se na bazi termoplasta, najviše polietilena, polivinil-klorida, poliamida. Metoda izrade ovih materijala je prešanjem ili brizganjem, a svojstva im se mogu poboljšati armiranjem metalnim žicama ili tekstilnim

predivom. Zbog čvrstoće ovakvih brtvila važno je kakvim će opterećenjima i temperaturama biti izložena, a deformacija pri naprezanju nije linearna. Kod ovih materijala posebno mjesto ima teflon (PTFE) koji posjeduje veliku kemijsku stabilnost i postojanost na niskim i visokim temperaturama. Upotrebljiv je za brtvenje na temperaturama koje vladaju u postrojenjima koja rade s tekućim zrakom i dušikom, kao i u onima s razmjerno visokim temperaturama od 250-280 °C. Teška obrada predstavlja mu nedostatak, a lakši materijal za obradu je tzv. hostaflon koji je također termoplast. On ima i bolja mehanička svojstva, ali je njegova kemijska postojanost manja (LZMK, 1976.).

Na slici 22. prikazani su primjeri teflonskih brtvi za hidrauliku.



Slika 22. Teflonske brtve za hidrauliku

(Izvor: <http://www.ws-seals.com/>)

4.10. Brtve od grafita

Grafit je materijal za brtvila koja posjeduju važno svojstvo toplinske postojanosti (do 800 °C) i kemijske otpornosti, kao i dobro antifriksijsko djelovanje. Međutim, njegova ostala mehanička svojstva nisu povoljna. Kao samostalno brtvilo dobro se može upotrijebiti za brtvljenje spojeva s malom zračnošću među dosjedinim površinama, naročito među navojima. Od ostalih materijala na bazi ugljika kao brtvila u obzir dolaze proizvodi dobiveni od usitnjenih tvari s velikim sadržajem ugljika i s pomoću različitih veziva (tzv. umjetni ugljeni). Oni imaju znatno veću čvrstoću, a ostala svojstva slična svojstvima grafita. Dosta se upotrebljavaju u izradi tzv. samopodmazivih brtava (LZMK, 1976.).

Na slici 23. prikazani su različiti tipovi grafitnih brtvi.



Slika 23. Različiti tipovi grafitnih brtvi (Izvor: <https://atechnologymarket.com/>)

4.11. Brtve od metala

Metali se za brtvila koriste onda kada prethodno navedeni materijali ne ispunjavaju uvjete u pogledu čvrstoće i postojanosti. Glavni nedostatak im je puno manja kompresibilnost i teža deformacija. Zato je potrebno kvalitetno obraditi dosjedne površine i koristiti veće stezne sile kako bi brtvljenje spojeva bilo učinkovito. Prema uvjetima djelovanja za metalna brtvila mogu se koristiti kositar, olovo, aluminij, bronca, nikal i njegove legure, olovna bronca, lijevano željezo, legirani i nelegirani čelici, pa i srebro, platina, steliti, kao i neki sinterizirani metali. Naročita je odlika sintetiziranih metala kao brtvila u tome što se mogu učiniti samopodmazivima natapanjem uljem. Nedostatak im je mala čvrstoća (LZMK, 1976.).

Na slici 24. prikazan je primjer metalnih uljnih brtvi.



Slika 24. Metalne uljne brtve za traktor

(Izvor: <http://www.gtiseal.com/>)

5. ZAKLJUČAK

Brtvljenje je kao tehnologija jedan od najvažnijih procesa pri izradi svih strojnih sustava u poljoprivrednoj tehnici. Predstavlja važan dio o kojem ovisi pravilan rad strojnog sustava.

Brtvila štite strojne elemente od stranih čestica i vlage. Omogućuju povezivanje sustava ili mehanizama koji zajedno djeluju pod tlakom te ujedno sprječavaju propuštanje tekućina, plinova, istjecanje maziva, te ulaz nečistoća (npr. rastavljivi cijevni spojevi) u unutrašnjost konstrukcije. Pravilnom instalacijom i pravilnim rukovanjem brtve, produžuje se radni vijek i pridonosi skladnijem radu strojeva. Učinkovitost brtvenog elementa ovisi o prijanjanju brtve i tlaku.

Vrlo je zahtjevana i sama proizvodnja brtvila koja moraju imati potrebnu otpornost u uvjetima u kojima će se brtvljenje obavljati. Iz ovoga proizlazi činjenica da svi elementi brtvljenih spojeva moraju biti prikladno oblikovani, što uključuje tolerancije, dimenzije, oblik i položaj. Osim proizvodnje brtvila moraju se zadovoljiti i konstrukcijski zahtjevi u pogledu povoljno obrađene dosjedne površine kako bi brtvljeni spoj ispunio svoju funkciju u potpunosti ili koliko je to maksimalno moguće.

U proizvodnji brtvila primjenjuju se različite vrste materijala. Prilikom izbora materijala koji je prikladan za izradu određene vrste brtvila bitno je poznavanje uvjeta u kojima brtvalo funkcionira, vrste medija koji se brtvi te cjelokupna konstrukcijska izvedba brtvljenog spoja. Najčešće vrste materijala za izradu brtvila su metali, prirodni materijali (papir i karton, koža, biljna vlakna, pluto, itd.), umjetni materijali (guma, plastične mase, vulkanfiber itd.). No, ponekad materijali koji se koriste u izradi brtvila ne mogu samostalno obavljati funkciju brtvljenja (zbog uvjeta rada strojnih dijelova i sl.), zbog čega ih je potrebno dodatnim operacijama spajati u jedan materijal kako bi se postigao funkcionalni brtvljeni spoj (kombinacije materijala).

6. POPIS LITERATURE

1. A Technology Market (2019.): Graphite Seals Market Set To Grow According To Forecasts. <https://atechnologymarket.com/graphite-seals-market-set-to-grow-according-to-forecasts/> (20.08.2019.)
2. Agrodoctor. Oil seal. <https://agrodoctor.eu/seal/96238-oil-seal-140kh170kh145-16-rwdr-k7-nbr-12016688b-corteco-.html> (20.08.2019.)
3. AliExpress™. <https://www.aliexpress.com/item/32796221676.html> (11.07.2019)
4. Apex sealing technologies pte ltd. <http://www.apexsealing.com.sg/vegetable-fibre-sheet/> (09.06.2019)
5. Complete Tractor. <https://www.completetractor.com/new-valve-cover-gasket-for-ford-new-holland-tractor-c7nn6584b/> (02.09.2019)
6. Dihta d.o.o. O-prstenovi. <http://www.dihta.com/program-proizvodi/brtvila/brtve-cilindra/o-prstenovi/> (20.06.2019.)
7. Dunder, M.; Kolumbić, Z. (2012.): Strojarski elementi 1. <https://www.ffri.hr/~mdundjer/?fbclid=IwAR3utm3ATdVc3YUQ3u2GvGOfXNcR2WTpyO77P4TqezLRkXHakausdcCmCo> (18.06.2019.)
8. Dunder, M.; Kolumbić, Z. (2012.): Strojarski elementi 2. <https://www.ffri.hr/~mdundjer/?fbclid=IwAR3utm3ATdVc3YUQ3u2GvGOfXNcR2WTpyO77P4TqezLRkXHakausdcCmCo#> (18.06.2019)
9. GTB Gumeno Tehnička Brtvila. Gumeni proizvodi. <https://gtb.hr/product/zastitna-harmonika-prema-uzorku-2/> (25.6.2019.)
10. GTISEAL Inc. <http://www.gtiseal.com/chinese-supplier-tractor-engine-oil-seal-pd6047572.html> (19.8.2019)
11. Haas, W. (2014.): Grundlehrgang Dichtungstechnik. Skript, Institut für Maschinenelemente, Universität Stuttgart. https://www.ima.uni-stuttgart.de/dokumente/forschung/dichtungstechnik/skript_dichtungstechnik.pdf (15.06.2019.)
12. HENNLICH industrijska tehnika d.o.o. Brtvenice. <https://www.hennlich.hr/proizvodi/brtve-brtvenice-373.html> (11.07.2019)
13. HENNLICH industrijska tehnika d.o.o. <https://www.hennlich.hr/novosti/detaljan-pregled/article/gdje-se-koriste-stapne-brtve.html> (11.07.2019)
14. Hidrospoj.hr <https://hidrospoj.hr/proizvod/klipna-brtva-g11/> (14.07.2019)

15. Indiamart. HMT Tractor Rubber Oil Seals.
<https://www.indiamart.com/proddetail/hmt-tractor-rubber-oil-seals-7463941748.html>
 (15.08.2019.)
16. Isojoen Konehalli Oy (IKH). <https://www.ikh.fi/en/piston-ring-set-std-3-rings-t5067>
 (20.08.2019.)
17. Leksikografski zavod Miroslav Krleža - LZMK (1976.): Tehnička enciklopedija. 5. svezak, 302-308.
18. PicClick.de. <https://picclick.de/Zetor-6011-7045-6211-7745-Traktor-Ersatzteile-Motordichtungssatz-202534524608.html>
19. PKL d.o.o. SKF Hidraulične brtve. <https://pkl.hr/hidraulicne-brtve> (19.08.2019)
20. Protech Seal d.o.o. <http://www.protechseal.hr/> (19.08.2019)
21. RAM Gaskets. <https://www.ramgaskets.com/gaskets/leather-gaskets/> (28.06.2019.)
22. Sachsenröder GmbH & Co.
https://sachsenroeder.com/en/vulcanized_fibre_savutec/application-areas/sealing-and-isolation/ (02.07.2019)
23. Tianjin svks technology & development co., ltd. Rubber seal. <http://www.svks-rubberseal.com/nonstandard-rubber-seal/custom-rubber-seal/rubber-diaphragm-seals-for-vacuum-pump.html> (11.07.2019)
24. Vujčić, M.; Emert, R.; Jurić T.; Heffer, G.; Baličević, P.; Pandurović, T.; Plaščak, I. (2011.): Osnove poljoprivrednog strojarstva. Udžbenik, Poljoprivredni fakultet Osijek
25. Xi'an wei sheng machinery parts co.,ltd. Spring Energized Seals. <http://www.ws-seals.com/product/Hydraulic-PTFE-Teflon-Spring-Energized-Seals.html> (28.8.2019)

POPIS SLIKA

Slika 1.	Shema brtvljenih spojeva	Str. 3
Slika 2.	Podjela brtvljenih spojeva	Str. 5
Slika 3.	Plosnata brtva u tehničkom sklopu	Str. 6
Slika 4.	Različiti tipovi O-prstenova	Str. 7
Slika 5.	Gumene membranske brtve	Str. 7
Slika 6.	Brtvljenje pomoću brtvene mase	Str. 8
Slika 7.	Zaštitne manžete	Str. 8
Slika 8.	Komplet zaštitnih metalnih klipnih prstenova	Str. 9
Slika 9.	Primjer traktorske RWDR brtve	Str. 10
Slika 10.	GLRD mehanička brtva	Str. 11
Slika 11.	Brtvenica	Str. 11
Slika 12.	Štapne brtve	Str. 12
Slika 13.	Klipna brtva	Str. 12
Slika 14.	Hidraulične brtve	Str. 13
Slika 15.	Komplet papirnih brtvi za traktor	Str. 16
Slika 16.	Kožne brtve	Str. 16
Slika 17.	Brtve od biljnih vlakana	Str. 17
Slika 18.	Plutena brtva	Str. 17
Slika 19.	Brtve od vulkanfibera	Str. 18
Slika 20.	Komplet klingeritnih brtvi za traktorski motor	Str. 19
Slika 21.	Gumene brtve za traktor	Str. 20
Slika 22.	Teflonske brtve za hidrauliku	Str. 21
Slika 23.	Različiti tipovi grafitnih brtvi	Str. 22
Slika 24.	Metalne uljne brtve za traktor	Str. 22